

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA (FAT)  
PARA LA EMPRESA APSI S.A.S. CON EVALUACIÓN DE APLICABILIDAD EN  
LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA**

**VIRGINIA DEL CARMEN GUERRERO COGOLLO**



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA  
BARRANQUILLA, COLOMBIA  
2020**

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA (FAT)  
PARA LA EMPRESA APSI S.A.S. CON EVALUACIÓN DE APLICABILIDAD EN  
LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA**

**VIRGINIA DEL CARMEN GUERRERO COGOLLO**

**PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TUTOR**

**MG. FARID ALEXANDER MELENDEZ PERTÚZ**

**COTUTOR**

**ING. HEYDER DAVID PÁEZ LOGREIRA**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA  
BARRANQUILLA, COLOMBIA**

**2020**

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme culminar esta etapa, porque a pesar de todos los inconvenientes que se pudieron presentar no dejó que desistiera.

A la memoria de mi padre Carlos Guerrero que lo amo mucho y siempre ha sido mi apoyo incondicional, a quien desde niña siempre le he guardado admiración y respeto, de quien heredé la curiosidad y pasión por el “crear y conocer”, quien por un llamado de Dios no puede estar de manera presencial para ver que cumplí una meta más, pero estoy segura de que desde el cielo me ayudó para cumplirla y está feliz por ello.

A mi madre Nilsy Cogollo, mi gran ejemplo a seguir, quién me acompañó en cada traspasada y siempre me animaba a culminar este proyecto, la mujer que más admiro y que más amo.

A mis hermanas Consuelo y Nilsy, que me han acompañado y apoyado siempre en cada etapa de mi vida y me impulsan a cumplir mis sueños.

A mi sobrino Carlos Bornacelly, que desde que nació llena mi vida de alegría, y el compartir tanto tiempo y experiencias conmigo ha desarrollado en él un gran interés por la ingeniería electrónica,

A mi novio Miguel de la Hoz, el amor bonito que Dios colocó en mi vida, quien desde que me conoce me ha apoyado y ayudado en el cumplimiento de mis sueños, terminar mi proyecto de grado es uno de ellos.

Todos los mencionados anteriormente han sido mi mayor fortaleza en todo momento y son mi mayor motivación para salir adelante a nivel personal y profesional, me impulsan siempre a dar lo mejor de mí y confiar en mis capacidades.

### **Agradecimientos**

Agradezco principalmente a Dios por la vida y darle el sustento económico a mis padres y hermanas para ayudarme a cumplir mi sueño de ser Ingeniera Electrónica y por darme sabiduría y discernimiento en mi vida universitaria.

A los ingenieros Farid Meléndez, Zhoe Comas, José Simancas, Heyder Paéz, Ángel Mejía, José Caicedo, Elkin Ramírez por compartirme un poco de sus conocimientos, ayudarme a crecer personal y profesionalmente y regalarme su sincera amistad. Agradezco especialmente a Farid, Zhoe, Simancas y Heyder por sus muy significativos aportes para el desarrollo de este proyecto de grado, además de su tiempo, paciencia y dedicación.

A mis familiares y mi novio, quienes pacientemente me han ayudado y apoyado en el desarrollo de mis metas y son mi mas grande motivación.

A mis amigos Vanessa Vela, José Campuzano, Angie Tejada, Maria Barrios, Víctor Zabala, Wilman Vargas, Angie Marriaga que estuvieron muy atentos al desarrollo y culminación de este proyecto.

A todos los docentes que participaron en mi formación profesional.

A la Universidad de la Costa por crear espacios que permiten el desarrollo de habilidades investigativas y el desarrollo de competencias genéricas, además de ser mi lugar de formación académica y en el que viví experiencias inolvidables.

### **Resumen**

En este proyecto se presenta el diseño de un banco de pruebas FAT, coherente con las necesidades y requisitos de una empresa piloto, APSI S.A.S. en la que quien escribe se desempeñó con el cargo de ingeniero de proyectos durante la etapa de prácticas universitarias. En este periodo se pudo detectar inconvenientes repetitivos que se presentaban al momento de realizar pruebas FAT, que se solucionarían con la implementación de un espacio adecuado con los elementos requeridos para su realización. El estudio parte de una muestra de proyectos realizados por la empresa y que han estado a prueba. Este análisis permite identificar los objetivos y requisitos de las pruebas, equipos en prueba, equipos que intervinieron, herramientas y elementos utilizados para cada prueba; con el fin de determinar los requisitos que se deben tener en cuenta en el diseño. Además, se evalúa la aplicabilidad de la implementación del banco de pruebas FAT diseñado, en la Universidad de la Costa. El banco de pruebas FAT facilita la creación de entornos de trabajo durante las prácticas de laboratorio realizadas por el estudiante, acercándolo a un entorno realista frente a su profesión.

***Palabras clave:*** FAT, detección, prueba, requisitos

**Abstract**

This project presents the design of a FAT test bench, coherent with the needs and requirements of a pilot company, APSI S.A.S in this company i worked as a project engineer during my university internship, during this period i was able to detect repetitive inconveniences that arose at the time of performing FAT tests, which would be solved with the implementation of an adequate space with the elements required for its realization. The study is based on a sample of projects carried out by the company and that have been tested. This analysis allows to identify the objectives and requirements of the tests, equipment under test, equipment that intervened and other tools and elements used for each test; the above with the final purpose to determine the requirements that must be taken into account in the design. to determine the requirements that must be taken into account in the design. In addition, the applicability of the implementation of the FAT test bench designed at the University of the Coast is evaluated. The FAT test bench facilitates the creation of work environments during laboratory practices carried out by the student, bringing them closer to a realistic environment in front of their profession.

**Keywords:** FAT, detection, test, requirements

## Contenido

Lista de tablas y figuras.....	9
Introducción.....	10
1. Planteamiento.....	13
2. Objetivos.....	16
2.1. Objetivo general .....	16
2.2. Objetivos específicos .....	16
3. Justificación .....	17
4. Marco teórico y estado del arte .....	18
4.1. Pruebas de Aceptación en Fábrica FAT (Factory Acceptance Test) .....	25
4.2. Pruebas de aceptación en sitio SAT (Site Acceptance Test) .....	27
4.3. Automatización y control industrial .....	28
4.4. Controladores lógicos .....	31
4.4.1. Equipos autómatas .....	31
4.5. Competencias del estudiante de ingeniería electrónica .....	31
5. Metodología.....	35
5.1. Tipo de investigación.....	35
5.2. Diseño de la investigación .....	35
6. Resultados de la investigación .....	39
6.1. Identificación de las soluciones de ingeniería que contienen automatización y control sometidos a pruebas .....	39
6.2. Requisitos.....	42
6.2.1. Requisitos funcionales .....	42
6.2.2. Requisitos no funcionales .....	42
6.3. Diseño .....	43
6.3.1. Diseño preliminar .....	44
6.3.2. Diseño final .....	45
6.4. Manual .....	49
6.4.1. Ejemplo de uso .....	49

6.5. Aplicabilidad del diseño del banco de pruebas en la Universidad de la Costa ...	53
7. Conclusiones .....	55
Referencias .....	57
Anexos.....	61



## Lista de tablas y figuras

### Tablas

Tabla 1 Metodología del proyecto. ....	36
Tabla 2 Índice de uso de Herramientas y otros elementos .....	39
Tabla 3 Índice de uso de los equipos en prueba. ....	41
Tabla 4 Índice de uso de equipos que intervinieron. ....	41
Tabla 5 aplicabilidad del diseño en la Universidad de la Costa .....	53

### Figuras

Figura 1 Diseño preliminar.....	44
Figura 2 Diseño final.....	46
Figura 3 Módulo 1 .....	47
Figura 4 Módulo 2 .....	48
Figura 5 Módulo 3 .....	48
Figura 6 Módulo 4 .....	49

## **Introducción**

Durante la primera mitad del siglo XX, con el desarrollo de campos de aplicación como la mecánica, eléctrica, química y demás, se incrementó el número de las variables físicas que necesitan ser vigiladas y controladas. Lo anterior hizo más complejo el control de los sistemas. Como solución a esta complejidad y gracias al desarrollo de la electrónica, se desarrollaron equipos capaces de memorizar y procesar las variables físicas que constituyen un sistema (Mandado, Marcos, Fernández, & Armesto, 2009).

Los primeros sistemas de control, conformados por relés y circuitos lógicos que permitieron la manipulación indirecta de magnitudes físicas fueron desarrollados a finales del siglo XIX y comienzo del siglo XX. Su función principal era sustituir los sistemas convencionales por unos controladores lógicos, algunos de tipo programable. Desarrollando un equipo robusto con facilidad de interconexión al proceso, conformados por circuitos integrados (Balcells & Romeral, 1997).

La automatización industrial es la rama de la ingeniería electrónica que permite la integración de tecnologías utilizadas en el control automático industrial, y complementadas con los sistemas de supervisión y control, el control de procesos, y las redes de comunicación industrial (Páez Logreira, Zabala Campo, & Zamora Musa, 2016). La integración de estos procesos cierra la brecha hombre – máquina y permite la creación de soluciones de ingeniería (Pillapa Tibanquiza & Hurtado Guambingo, 2010). Cada solución desarrollada debe ser ensamblada, inspeccionada y testeada para asegurar que el sistema es capaz de cumplir con sus requisitos funcionales (Delava & Van Tiggelen, 1992).

En este proyecto se presenta el diseño de un banco de pruebas FAT para verificar el estado físico y funcional de los equipos que conforman una solución que contenga automatización, control y/o comunicación industrial. Mediante un banco de pruebas FAT se garantiza el cumplimiento de los requisitos funcionales y no funcionales de la aplicación. La importancia de estas pruebas conlleva a la necesidad de un espacio seguro y apropiado para su realización. APSI S.A.S. es una empresa dedicada a la solución de necesidades tecnológicas, de control y automatización. Sin embargo, no cuenta con un espacio adecuado para la realización de pruebas FAT.

En el desarrollo de este proyecto, se realizará un análisis de algunas de las soluciones desarrolladas por APSI, que fueron probadas. Con el fin de identificar los requisitos más frecuentes, equipos en prueba, equipos que intervinieron y demás herramientas y elementos utilizados en cada prueba.

Finalmente se presentará un diseño que cumpla con los requisitos arrojados por la investigación y una evaluación de aplicabilidad del mismo para su implementación en el laboratorio de robótica y automatización de la Universidad de la Costa.

El diseño del banco de pruebas FAT permite la realización de diferentes pruebas en un mismo espacio de trabajo, optimizando los tiempos de ejecución de las pruebas y creando un ambiente seguro para el encargado de realizarlas. Este diseño constituye a su vez una innovación en la forma del desarrollo de competencias del estudiante de ingeniería

electrónica debido a que crea un entorno amigable para el aprendizaje y facilita el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

En el primer capítulo de este documento se describe la problemática identificada, y la importancia que tiene solucionarla. En el segundo capítulo se relaciona el alcance del estudio, a través del objetivo general y los objetivos específicos. En el tercer capítulo se habla sobre la importancia del diseño de la solución y los beneficios que tendría su aplicabilidad en la Universidad de la costa, UNICOSTA. En el cuarto capítulo se desarrolla el marco conceptual y de antecedentes; allí se abordan los conceptos y los referentes vinculados a la temática trabajada. El quinto capítulo trata de la metodología empleada, especificando las fases y actividades programadas para el cumplimiento de cada fase y llevar a cabo la ejecución del proyecto. En el sexto capítulo se detallan los resultados de la investigación obtenido del desarrollo de las actividades plateadas en las fases descritas del capítulo anterior. Además, se detallan el diseño del que se partió hasta el diseño final, también muestra un ejemplo de cómo utilizar el banco de pruebas en caso de ser implementado. El séptimo y último capítulo cierra el documento con las conclusiones.

## **1. Planteamiento**

Para el diseño y construcción de una solución de ingeniería, que incluya automatización, control y comunicación industrial, es necesaria la realización de Pruebas de Aceptación en Fábrica, FAT por sus siglas en inglés. Las pruebas FAT se realizan posterior al desarrollo de una solución de ingeniería y previo a su instalación en sitio (Cifuentes Herrera, 2015). El objetivo de las pruebas FAT es verificar los equipos y programas de la solución. Esto permite la detección y corrección de errores cometidos en alguna de las fases de la solución (diseño, revisión, programación y/o configuración, y construcción). Las pruebas FAT garantizan que el objeto de prueba cumple con las especificaciones de diseño y funciona correctamente (Cifuentes Herrera, 2015).

Teniendo en cuenta que los equipos y programas de la solución tienen diferente funcionamiento y lógica, es necesario un entorno adaptable para la realización de las pruebas FAT, según las características del equipo o programa a probar (Dago Bedoria, 2015). Esto implica contemplar las especificaciones eléctricas, requisitos tecnológicos, técnicos y dimensionales de los equipos que serán utilizados durante la realización de las pruebas para adecuar el espacio donde se ejecutarán.

Durante el desarrollo de las pruebas FAT existe el riesgo de incidentes laborales tales como cortocircuitos, caídas de instrumentos cortopunzantes o de trabajo en caliente (tijeras, pinzas, cortafíos, ponchadoras, cautín), caídas de equipos delicados (pantallas, multímetros, PLC, RTU, entre otros). Estos incidentes pueden ocasionar accidentes o lesiones en la persona encargada de la prueba. Electrocutación, cortaduras, quemaduras,

golpes con fracturas, riesgo osteomuscular o muerte, son tipos de accidentes que pueden ocurrir en una prueba FAT. Además, los equipos pueden sufrir daños. Debido a estos riesgos, incidentes y accidentes, es necesario contar con un espacio adecuado para la elaboración las pruebas FAT.

APSI S.A.S. es una empresa cuya actividad económica incluye el diseño de soluciones de ingeniería y la programación de autómatas. Las soluciones de ingeniería pasan por una serie de pruebas antes de ser entregadas al cliente. Sin embargo, APSI actualmente no cuenta con un espacio adecuado para la elaboración de pruebas FAT.

Hasta la fecha no se reportan incidentes o accidentes por esta causa en APSI; sin embargo, la falta de un espacio adecuado para la realización de pruebas FAT incrementa el riesgo. Este contexto genera la posibilidad de cometer actos inseguros, y provoca desorganización e incomodidad en el puesto de trabajo del ingeniero a cargo. Un entorno inadecuado para las pruebas FAT puede aumentar los tiempos de preparación del entorno de pruebas.

Por otro lado, el estudiante de ingeniería electrónica de la Universidad de la costa, durante el pregrado, realiza proyectos de aula y prácticas de laboratorio que le permiten desarrollar competencias necesarias para el ejercicio de la profesión. La UNICOSTA, cuenta con espacios adecuados para el desarrollo de las prácticas de laboratorio; sin embargo, se emplea mucho tiempo en la adecuación de este espacio para ejecución de la actividad a realizar. Además, los equipos utilizados por los estudiantes deben ser

trasladados por los mismos de un lugar a otro, lo que puede ocasionar incidentes, accidentes y daños en los equipos.

Este contexto del problema permite plantear los siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la arquitectura ideal de un banco de pruebas FAT para la empresa APSI S.A.S.?

Adicionalmente, surgen las siguientes inquietudes:

- ¿Cuáles son las pruebas realizadas en el desarrollo de soluciones de automatización, control y comunicación industrial en la empresa APSI S.A.S.?
- ¿Cuáles son requisitos técnicos, eléctricos y tecnológicos necesarios para la implementación de pruebas FAT?

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Diseñar un banco de pruebas FAT para proyectos de automatización industrial que cumpla con los requisitos de operación de la empresa APSI S.A.S.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Identificar los procesos de pruebas realizados en el desarrollo de soluciones de automatización y control en la empresa APSI S.A.S.
- Analizar los requisitos técnicos, eléctricos y tecnológicos necesarios para la implementación de pruebas FAT.
- Realizar el esquema del banco para pruebas FAT que integre los procesos identificados y los requisitos de operación de la empresa APSI S.A.S.
- Evaluar la aplicabilidad del diseño del banco de pruebas FAT en las condiciones de operación del laboratorio de robótica y automatización de la Universidad de la Costa.



### **3. Justificación**

El banco de pruebas FAT propuesto permitirá verificar el estado físico y funcionalidad de los equipos que integran una solución de ingeniería en automatización, control, instrumentación y comunicación industrial (RTU's, PLC's, pantallas, módems, convertidor, entre otros). Además, el banco de pruebas diseñado cumplirá con los requisitos técnicos, eléctricos y tecnológicos necesarios para la realización de pruebas FAT.

El banco de pruebas FAT propuesto incluye un diseño seguro y eficiente para la realización de pruebas. Esto permite optimizar el uso de los recursos, como el espacio, cableado, tiempo de instalación de equipos y personal requerido para las pruebas. Además, lograr minimizar las condiciones inseguras que producen acciones de riesgo.

Replicar la metodología y arquitectura del banco de pruebas FAT propuesto, para el laboratorio de Robótica y Automatización de la UNICOSTA, ayudará a los estudiantes en la creación de su entorno de trabajo y mantenerlo ordenado. Además, reducirá el riesgo de incidentes y accidentes en los estudiantes durante la ejecución de sus actividades académicas.

Los estudiantes de ingeniería electrónica tendrán una visión más cercana a la tarea de su profesión en la industria, puesto que el diseño del banco de pruebas FAT propuesto, está basado en las condiciones reales de operación de una empresa cuya actividad económica es el diseño de soluciones de ingenierías. Cada solución de ingeniería y equipo contemplado en el diseño del banco de pruebas FAT, tienen diferente funcionamiento y lógica. Esto permite que el estudiante interactúe en diferentes áreas de aplicación de la ingeniería electrónica, en el mismo entorno de trabajo.

#### **4. Marco teórico y estado del arte**

El objetivo general de este proyecto está enfocado en el diseño de un banco de pruebas FAT que cumpla con ciertos requisitos para poder ser implementado en una empresa. Por lo anterior, la búsqueda incluyó empresas que sobresalieran por la implementación de bancos de prueba en sus procesos, empresas para las que es necesaria la implementación de pruebas FAT, empresas dedicadas al diseño y fabricación de bancos de pruebas. Además de literatura generada por estudiantes universitarios que enmarcan la necesidad de un banco de pruebas en sus laboratorios y la utilidad de estos en diferentes entornos.

Empresas como Haven Automation Ltd. dedican su principal actividad económica al diseño y elaboración de bancos de pruebas. Haven Automation se ha especializado en la creación de bancos de pruebas modulares. Su concepto se fundamenta en montajes de prueba fuera del escritorio para aumentar el área de trabajo, el diseño modular funcional con módulos completamente intercambiables, permite especificar los requisitos exactos, ofreciendo máxima flexibilidad en diseño y uso. Haven automation cuenta con módulos estándar que incluyen: Fuentes de alimentación de AC variables, fuentes de alimentación de DC variables, multímetros digitales, osciloscopios, generadores de funciones, calibradores de presión/ vacío, calibradores de proceso, calibradores mV / mA, estaciones de soldadura y desoldadura. Adicional a ello, en caso de que los módulos estándar no cumplan con los requisitos técnicos, los ingenieros de Haven los incorporan en un modelo personalizado, logrando así una solución de diseño óptima («Test Benches», 2019).

Por su parte, Quanser Innovate Educate, se ha convertido en el líder, a nivel mundial del diseño y fabricación bancos de pruebas didácticos o plataformas de escritorio optimizadas para la enseñanza de la ingeniería, respondiendo a la necesidad de transformar la manera en la que los educadores enseñan la teoría, aplicación e implementación del control, la robótica y la mecatrónica; buscando atraer y preparar eficientemente al futuro ingeniero. La Universidad de la Costa cuenta con algunas de estas plataformas, las cuales se utilizan para el desarrollo de las asignaturas de teoría de control y circuitos digitales. Su aplicación le permite al estudiante de pregrado un acercamiento con el mundo exterior, comparar el resultado simulado por un software, con el resultado esperado y el resultado obtenido en la práctica, posibilitando que indague sobre el porqué difieren estos resultados (en caso de que así sea), el papel que juega cada elemento del sistema, y demás interrogantes que puedan surgir (Quanser, 2019).

Preocupados por la enseñanza de la ingeniería y la adquisición de las habilidades técnicas y por el desarrollo de un plan de capacitación de sus clientes, Amatrol (Automated Machine Controls) se ha encargado de diseñar, desarrollar y fabricar sistemas de aprendizaje técnico altamente interactivo, que permite el desarrollo desde habilidades técnicas básicas, hasta la solución de problemas de tecnología avanzada. Sus productos se caracterizan por integrar sistemas y los elementos necesarios para el aprendizaje de temáticas tales como: los sistemas de control de procesos, procesos de manufactura, industria 4.0, tecnología verde, la mecánica, entre otros; en un solo producto, lo que hace que este sea ideal para espacios de entrenamiento demasiado pequeños (AMATROL Inc., 2019).



*Figura 1 TableTop Smart Factory, Tomado de <https://amatrol.com/>*

La implementación de este tipo de bancos permite el desarrollo de diferentes prácticas de laboratorio e incluso, la capacitación de múltiples temáticas en un mismo entorno de trabajo.

Mientras tanto, las empresas dedicadas al desarrollo de sistemas integrados para la industria automotriz emplean bancos de pruebas que permiten la simulación de cualquier situación de manejo y toma datos de medición y calibración. ETAS es una empresa europea dedicada al desarrollo de aplicaciones y la realización de pruebas automatizadas para la industria automotriz. un banco de pruebas llamado LABCAR, que les permite integrar y probar funciones de control y diagnóstico sin colocar en riesgo al conductor ni al vehículo. Algunas de estas son: mantenimiento del motor, gestión de transmisión, sistema de frenado antibloqueo, programas electrónicos de estabilidad, sistemas de frenos hidráulicos, control

de crucero adaptativo, dirección delantera activa, control de asiento y ventana (ETAS Driving Embedded Excellence, s. f.).

En la industria farmacéutica las pruebas FAT juegan un papel muy importante, una falla no detectada en un equipo puede ocasionar por ejemplo, la elaboración de un fármaco que no cumple con los parámetros de calidad, considerando equipos como friabilizadores (permite medir la friabilidad o dureza de una tableta) y desintegradores (simula el proceso digestivo durante la ingesta de un fármaco para determinar el tiempo de desintegración del mismo). Es por esto que las fábricas de equipos de laboratorio farmacéutico incluyen en las FAT, pruebas de requisitos de usuario, rendimiento y en algunas ocasiones la investigación física o química. Para este tipo de equipos, particularmente quienes realizan las pruebas, deben solicitar previamente el protocolo de prueba de aceptación final de fábrica que debe ser preparado por el fabricante, los SOP que son procedimientos operativos estándar, documento que permite estandarizar los procedimientos de actuación, definiendo el quién, cómo y cuándo de una actividad, con el fin de evitar indefiniciones e improvisaciones que pueden producir problemas o deficiencias en la realización del trabajo. guías de utilización y servicio, documentación para capacitación de usuario, instrucciones para calibrar instrumentos, certificados de materiales y lista de datos, datos sobre la calificación del equipo, esquema del sistema y una lista de las piezas de repuesto relacionadas. Esto permite determinar si la prueba es satisfactoria o no, dependiendo de los procedimientos, el comportamiento de los materiales, el rango de error aceptado por los instrumentos y la operatividad del equipo en prueba, además de conocer la pieza o parte exacta donde se encuentra el fallo en él, en caso de haberlo. Sin embargo, las pruebas FAT no son

suficientes para garantizar la correcta operación de estos delicados equipos, posterior a ella, son realizadas las SAT, siendo lo mismo, pero en el lugar donde operará el equipo y finalmente son calificados, la calificación es realizada por un personal especializado en este servicio, en el que se prueba que el equipo realiza cada una de sus funciones, y que puede producir continuamente los resultados esperado. Luego de lo anterior, y de acuerdo con los resultados, es posible colocar en marcha el equipo (Choudhary, 2018).

Las FAT son necesarias para el proceso de validación de autoclaves y de casi todo equipo farmacéutico, debido a que los clientes pueden solicitar características especiales y únicas. En algunos casos, las FAT pueden ejecutarse durante la calificación de instalación IQ («Your Guide to Factory Acceptance Testing», 2016).

En algunas instituciones de estudios de pregrados, los alumnos han detectado la necesidad de contar con un banco de pruebas para el desarrollo de sus prácticas de laboratorio. Tal es el caso de Natalia María Mejía Agudelo graduada de la Universidad Tecnológica de Pereira (Pereira – Colombia), quien para la obtención de su título de pregrado, en el año 2016 elaboró un proyecto titulado “Diseño de un banco de pruebas didáctico para la operación de un sistema de control de movimiento con un servomotor Yaskawa” en el que diseñó un banco de pruebas didáctico que permite integrar diversos equipos para facilitar las actividades de operación y las prácticas de los estudiantes. Además, permite conocer el funcionamiento y operación de los servomotores Yaskawa, que han sido incursionados en las aplicaciones industriales y en la robótica (Agudelo, 2016). Este aporte se tomó como referencia para el diseño propuesto en el desarrollo de este proyecto.

Daniel Alejandro Vásquez Tulchan de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito (Quito – Ecuador) en el año 2016 desarrolló un módulo prototipo de pruebas que le permitió a la empresa pública metropolitana de transporte controlar y verificar el diagnóstico de fallas en los motores trifásicos de inducción, por medio de una aplicación HMI con la que monitoreaban y controlaban el comportamiento de los mismos, lo que posibilitó la detección de fallas. Lo anterior corresponde al resultado del proyecto de grado titulado “Diseño e implementación de un módulo prototipo de pruebas con diagnóstico de problemas, para motores trifásicos, en la empresa pública metropolitana de transporte de pasajeros” (Tulchan & Alejandro, 2016). La revisión de este antecedente permite demostrar la relevancia dada por las empresas a las pruebas realizadas a los equipos que intervienen de forma crítica en su operación, de ahí la importancia de la realización de las FAT.

Por su parte, también en Ecuador, Carlos Alberto Moya Cabezas y Alex Javier Pinto Jaguac de la Universidad de las Fuerzas Armadas (Sangolquí – Ecuador) en el año 2015, en su proyecto para la obtención de su título de Ingeniero Mecánico, llamado “Automatización del banco de pruebas PLINT TE 15 y balance termodinámico del motor del banco perteneciente al laboratorio de motores de combustión interna” de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE proponen el uso de un sistema automatizado para la adquisición de datos en tiempo real, que proyecte de forma digital y en gráficas los datos obtenidos, en el banco de pruebas del laboratorio de motores de combustión interna de la ESPE. Uno de los resultados más relevantes fue la reducción del tiempo de la realización de las prácticas de laboratorio (Moya Cabezas & Pinto Jaguaco, 2015). Este antecedente evidencia la necesidad de disponer de un banco de pruebas para las prácticas de laboratorio, pues la reducción del tiempo empleado para la realización de la práctica,

posibilita el desarrollo de más prácticas y una mayor interacción del grupo de estudiantes, logrando así un mejor desarrollo de las competencias genéricas que debe adquirir el estudiante durante la clase.

En Colombia también se le apuesta a la automatización, esto se evidencia en el proyecto de grado titulado “Diseño e implementación de un sistema de control distribuido en el banco de pruebas neumático de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad del Valle con base en el estándar IEC 61499”, desarrollado por Andrés Felipe Romero Obando en la Universidad del Valle (Santiago de Cali – Colombia) en el año 2015, En este proyecto se propone el diseño de un sistema de control distribuido para el banco de pruebas neumático de la ESPE, aplicando el estándar IEC 61499, esto llevó a la adecuación de los dispositivos del banco de pruebas para poder desarrollar la arquitectura de referencia para el desarrollo, reutilización e implementación de los bloques funcionales tratados en el estándar (Obando & Felipe, 2016) . El diseño propuesto permitió el control automatizado de los dispositivos o equipos del banco de pruebas

Mientras tanto, en el mismo año, en Chile, Richard Antonio Cifuentes Herrera en su proyecto de grado, titulado “Modelamiento y ejecución de pruebas FAT para maximizar inyección de EERN en líneas de transmisión utilizando plataformas de simulación en tiempo real”; en el cual describe el diseño de un protocolo de pruebas FAT que permite validar el funcionamiento de un esquema de protección especial que aumentará la capacidad de las líneas de transmisión de doble circuito que conectan un parque fotovoltaico con un parque eólico. Las pruebas realizadas para este proyecto fueron llevadas a cabo con una plataforma de simulación en tiempo real, al finalizar el proyecto se



comprobó la importancia la correcta elaboración de pruebas FAT para la detección de fallas (Cifuentes Herrera, 2015).

Los fundamentos teóricos que sustentan este proyecto están conformados por las características de los equipos directamente implicados en el proyecto, y el tipo de comunicación que utilizan para su intervención. Lo anterior permite plantear un diseño idóneo del banco de pruebas.

#### **4.1. Pruebas de Aceptación en Fábrica FAT (Factory Acceptance Test)**

Son pruebas realizadas de equipos y documentos relevantes en las instalaciones de la empresa que fabrica el equipo. El objetivo principal de las FAT es la detección de errores, por ello no es un requerimiento obligatorio, pero es necesario realizar cuando el software es complejo o la arquitectura del sistema usa arreglos redundantes.

De acuerdo con el estándar IEC 615511, las FAT son testeos personalizados para diferentes tipos de sistemas los cuales se realizan antes de ser instalados en la planta. En general, en las pruebas FAT se hacen las siguientes verificaciones:

- Revisión física.
- Encendido y apagado de la máquina
- Revisión de la documentación
- Revisión de la lógica

Las consecuencias que podría tener la no realización de las pruebas FAT, van desde un incremento en el costo del proceso, pues es más económico reemplazar, reparar o solucionar dependiendo la falla desde fábrica que hacerlo en sitio. Al realizar las pruebas FAT, no solo se está verificando el correcto funcionamiento de la lógica, de las

comunicaciones y de cada componente, también permite realizar un diagnóstico que va a estimar cuándo será necesario realizar un mantenimiento preventivo y la periodicidad de este. Esto ayudará a maximizar el tiempo de actividad de la solución y por ende a minimizar los costos que pueden ocasionarse por una parada de emergencia para resolver alguna avería. las FAT le permiten al ingeniero asegurarse que el sistema desarrollado coincida con el diseño, la corrección de errores en la construcción, selección de componentes, ensamblaje, programación y demás, antes de colocarlo en marcha en sitio. No se deben confundir las FAT con la garantía de calidad, por ello durante las FAT el cliente tiene representantes que ponen el sistema a prueba. A pesar de las ventajas que tienen, algunas empresas prefieren no realizarlas cuando se trata no de una solución completa sino de un equipo, esto debido a que se remiten a las garantías del fabricante como alivio de cualquier riesgo, omitiendo que el equipo puede dañarse durante el empaque, carga, descarga, desembalaje, e incluso durante la instalación y puesta en marcha del equipo y en muchos casos desconociendo las políticas de garantía del fabricante («The Decline of Acceptance Testing», 2002).

Los proyectos o soluciones que requiera el desarrollo de software, son de difícil estimación de presupuesto y tiempo de entrega, especialmente cuando alguna de las partes involucradas no se encuentra en el "Proceso de Desarrollo de Software" SDP por sus siglas en inglés. Esto ocurre porque en el SDP se definen el qué, quién, cuándo y cómo del desarrollo del software partiendo de un análisis de requisitos de lo contratado por el cliente. A su vez permite al cliente medir la calidad del producto que recibe debido a que el software no es un producto tangible y su calidad debe medirse con la evaluación de ciertos

criterios. Por lo anterior, Mass Transit Railwail Corporation (MTRC), se dio a la tarea de establecer un método que permite cuantificar, validar y medir los parámetros de un proyecto, lo que permite controlar el progreso del trabajo, determinar las acciones que deben tomarse para alcanzar los objetivos y darle un valor al trabajo completado. MTRC reconoce a las FAT como una estrategia para la terminación de etapas y por eso la incluye en el criterio de medición que llama "Prueba de validación e informe", este criterio se encuentra formado por 3 fases del proceso de desarrollo de software: codificación o programación del software en el módulo, integración del software y la integración del sistema. Los indicadores de rendimiento de las FAT son los informes generados de su realización. Finalmente, como resultado de esta investigación elaboraron una plantilla con cada criterio, sus respectivas etapas e indicadores. Además, concluyen que asegurando la fase de desarrollo del software se verá un buen resultado en las pruebas FAT y con ello podrán hacer entrega de un producto Software que garantice el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente (Hampton & Quinn, 2000).

La implementación de pruebas de verificación cada vez más complejas, ha generado la necesidad de automatizar las pruebas de verificación. Esta investigación propone la generación de pruebas de verificación basadas en simulaciones automáticas que reducen el esfuerzo del ingeniero que las realiza y que incorpora técnicas de aprendizaje automático. El resultado de la automatización de las pruebas de verificación es un proceso de pruebas más efectivo y menos propenso a errores (Ioannides & Eder, 2012).

#### **4.2. Pruebas de aceptación en sitio SAT (Site Acceptance Test)**

Son pruebas realizadas de equipos y documentos relevantes en las instalaciones de la empresa que adquirió el equipo o la solución.

Las pruebas se dividen en 3 etapas:

- Prueba de integración: Pruebas realizadas para revisar que todas las partes integradas en el equipo, funcionen como fueron descritas en los documentos.
- Pruebas de funcionamiento: Pruebas realizadas para revisar que todas las partes integradas en el equipo, funcionen como fueron descritas en los documentos.
- Pruebas de aceptación del usuario: Son las pruebas donde el usuario indica si la solución soporta a su negocio y los requerimientos definidos por el mismo.

En general, las pruebas SAT realizan las siguientes verificaciones.

- Revisión de la documentación
- P&ID en caso de que existan
- Utilidades: Revisar que las conexiones estén bien.
- Software: Revisar interfaz y actualizar con el software
- Cableado: Revisar Conexión entre componentes a instrumentos externos y sistema de la planta de poder
- Revisar cuestiones remarcables del FAT (fallas detectadas)
- Prueba total de funcionamiento.

#### **4.3. Automatización y control industrial**

El término automatización hace referencia a la aplicación de la automática al control de procesos industriales, definiéndose automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución de un operario en tareas físicas y/o analíticas. Por lo que se considera a la automatización industrial una estrategia importante para la productividad industrial (Páez Logreira et al., 2016). Sin embargo, la realidad diaria de la complejidad de los procesos industriales ha generado la necesidad de no desplazar

completamente al operario, sino de crear una cooperación entre el operario y la máquina que controla el proceso, con el fin de mantener un sistema de control abierto en el que se pueda cambiar del control automático al manual para corregir errores o fallas en el algoritmo de control y cambiar del control manual al automático para optimizar los procesos.

Según P. Ponsa y T. Granollers, poner en marcha un proyecto de automatización requiere de cinco fases

- Automatización: en esta fase se observa el proceso a controlar y se selecciona el hardware que mejor responda al proceso.
- Supervisión: En esta fase se reúnen todas las especificaciones sobre los estados posibles que puedan generarse en el proceso, según la experiencia de quién lo realiza y/o de las especificaciones del cliente.
- Interacción: se concreta la intervención del operario con el autómata, mediante un panel de mando. Existen diversidad de dispositivos que permiten esta interacción, a estos dispositivos se les conoce globalmente como HMI, Interfaz hombre – máquina por sus siglas en inglés.
- Implementación: ya teniendo claro los requisitos y requerimientos y disponiendo de todas las herramientas y equipos necesarios para la elaboración de la solución, se procede a la programación del autómata y la integración de los dispositivos y módulos previamente seleccionados. Una vez consolidada esta fase, se da lugar a la fase final.

- Pruebas: se realiza la verificación del algoritmo y la respuesta del sistema consolidado en la fase anterior, vigilando la evolución del proceso para determinar si la solución cumple o no con lo solicitado por el cliente (Ponsa & Granollers, 2004).

Las soluciones de ingeniería que contiene automatización y/o control, necesitan verificar que el diseño lógico, el hardware seleccionado y el sistema como tal, se ajusta a los requerimientos y especificaciones identificadas de la necesidad que se va a suplir. Las pruebas FAT, incluyen una verificación funcional o verificación dinámica que facilita la tarea de la verificación del sistema probando inicialmente cada una de sus etapas y revisando cada uno de sus componentes hasta la prueba del enlace de las etapas o prueba de la solución desarrollada. Durante la verificación funcional, pueden utilizarse varios métodos que dependen de la solución que se encuentre en prueba, algunos de estos métodos son: simulación lógica por medio de un software especializado, simula la lógica creada antes de que se construya. Aceleración de simulación: Emplea un hardware de propósito especial para simular la lógica, es decir, cuando en el PLC se prueban las entradas y salidas con los leds que trae incorporados el mismo módulo. Emulación: consiste en la creación de un entorno similar, al menos en cuanto a la funcionalidad, el hardware completo para probar la lógica. Verificación inteligente: consiste en la automatización del banco de pruebas, empleando herramientas que deriven las funciones esenciales de la prueba: estímulo, cobertura y verificación. Algunas verificaciones inteligentes pueden proporcionar resultados de la verificación, además de escalar la prueba dependiendo de la configuración del hardware y software del sistema.

#### **4.4. Controladores lógicos**

Los controladores lógicos son aquellos equipos que realizan funciones lógicas, combinacionales y secuenciales por medio de una programación. Son utilizados como elementos básicos de control y automatización.

Los controladores lógicos fueron creados inicialmente para satisfacer las necesidades en el mundo de la domótica, sin embargo, actualmente se han convertido casi imprescindibles también en maquinarias y equipos industriales de complejidad media e invernaderos industriales (Pulido, 2004).

Existen dos clases de controladores lógicos, los controladores lógicos con funciones lógicas definidas en el equipo y los controladores lógicos con diagramas de contacto:

##### **4.4.1. Equipos autómatas**

Por definición, autómata hace referencia una máquina que pretende imitar los procesos y funciones que realizan los seres vivos. Un equipo autómata recibe los símbolos de entrada secuencialmente, que en un instante determinado producen un símbolo de salida (Viñuela, 1997).

#### **4.5. Competencias del estudiante de ingeniería electrónica**

De acuerdo a lo descrito en el artículo “Implementación de nueva herramienta de seguimiento académico que valida la evaluación por competencias genéricas dentro de la facultad de ingeniería de la Universidad de la Costa (CUC)” se define competencia como la capacitación y cualificación adquirida por la formación técnica y profesional combinado con el comportamiento social, la aptitud para el trabajo en equipo, la iniciativa y el gusto por el riesgo, integrando el saber hacer y el saber ser. Los autores clasifican las competencias profesionales en teórica y práctica; siendo la competencia teórica la que se refiere a la adquisición de los contenidos básicos de las materias y el dominio de saberes científicos

específicos para el profesional. Mientras que la competencia práctica hace referencia a la técnica o dominio de las funciones y actividades que se realizan en una profesión (Comas González, Silva Ortega, & De la hoz Valdriris, 2014).

En Colombia, hay instituciones encargadas de medir el grado de competencia de una persona en función del desempeño de una prueba, en el sector gubernamental es el ICFES (Instituto Colombiano para la evaluación de la Educación Superior) y en el sector privado ACOFI (Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería), la segunda enfocada puntualmente en las carreras de ingeniería. A su vez estas instituciones permiten conocer el nivel de formación de las universidades.

La ABET por su parte, es una agencia a nivel mundial que está dedicada a la acreditación de programas universitarios, en la que indica que se cumplen estándares esenciales para producir graduados con una base sólida y capaces de dirigir el camino en la innovación, las nuevas tecnologías y en previsión de las necesidades de bienestar y seguridad del público (Acofi, 2019).

Para la ABET algunas de las competencias que debe tener el graduado de ingeniería son las siguientes:

- La capacidad de aplicar conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería.
- La capacidad para diseñar y realizar experimentos, así como analizar un conjunto de interpretar datos.
- La capacidad de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas.
- La capacidad para laborar dentro de un equipo multidisciplinario.
- La habilidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.



- La comprensión de la responsabilidad profesional y ética.
- La capacidad de comunicarse de manera efectiva.
- La amplia formación necesaria para comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto global de una sociedad.
- El reconocimiento de la necesidad y la capacidad de participar en el aprendizaje permanente.
- El conocimiento de los problemas contemporáneos.
- La capacidad para utilizar las técnicas, habilidades y herramientas modernas de ingeniería necesarias para la práctica de la ingeniería.

El ingeniero electrónico egresado de La universidad de la Costa, egresa con las siguientes competencias:

- Plantear la resolución de problemas de ingeniería mediante el uso de las matemáticas en las áreas de automatización, bioingeniería y telecomunicaciones.
- Comprobar mediante la abstracción y el análisis fenómenos físicos.
- Construir algoritmos y programas de computación para resolver problemas básicos de ingeniería.
- Formular proyectos de investigación en el área de la ingeniería.
- Administrar parcial o totalmente organizaciones empresariales.
- Formular y evaluar proyectos de inversión en ingeniería.
- Aplicar habilidades en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación.
- Desarrollar trabajo en equipo aplicando los conocimientos de manera práctica y con alta calidad en las áreas de automatización, bioingeniería y telecomunicaciones.

- Proponer soluciones que contribuyan al desarrollo sostenible a través del ejercicio de su profesión («Ingeniería Electrónica», 2019).

## **5. Metodología**

### **5.1. Tipo de investigación**

Esta investigación es de tipo aplicada. Los datos recolectados se fundamentan en la literatura y en el análisis de las condiciones de operación de la empresa APSI S.A.S. La investigación posee un alcance descriptivo, en tanto que especifica las características del diseño de un banco de pruebas FAT para la empresa APSI S.A.S. y su posible réplica en el Laboratorio de Robótica y Automatización de la Universidad de la Costa.

### **5.2. Diseño de la investigación**

El proyecto se divide en 4 fases: Identificación, análisis, diseño y evaluación.

La primera fase es la identificación de las pruebas que contengan automatización, control y comunicación industrial, realizadas por APSI S.A.S. en el desarrollo de soluciones de ingeniería. Esta identificación se realizará por medio de la revisión histórica de los proyectos y/o servicios realizados por APSI y el registro de sus respectivas pruebas. Como resultado se obtendrá la correlación de los proyectos y las pruebas realizadas en ellos, los equipos que intervinieron y el objeto de prueba.

La siguiente fase consiste en el análisis de los requisitos técnicos, eléctricos y tecnológicos necesarios para la implementación de las pruebas FAT. En esta fase se especificarán los requisitos que debe contemplar el diseño del banco de pruebas, esto se hará consultando las hojas de especificaciones de los instrumentos e investigando las normas existentes aplicables al diseño tales como normas de bancos de pruebas FAT, normas eléctricas, entre otras.

La tercera fase consta del diseño del banco de pruebas FAT. En esta fase se tomarán los resultados de las fases anteriores para realizar un análisis de los mismos y realizar los planos de diseño del banco de pruebas FAT adecuado para APSI S.A.S.

La última fase es la evaluación de aplicabilidad del diseño del banco de pruebas FAT propuesto para la empresa APSI S.A.S, en el laboratorio de Robótica y Automatización de la UNICOSTA. En esta fase se determinará si es posible replicar la metodología y arquitectura del banco de pruebas FAT propuesto en las condiciones de operación del laboratorio de Robótica y Automatización de la Universidad de la Costa.

Tabla 1

*Metodología del proyecto.*

<i>Fase</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Actividad</i>	<i>Resultado</i>
<b>Identificación</b>	<i>Identificar las pruebas realizadas en el desarrollo de soluciones de ingeniería que contengan automatización y control en la empresa APSI S.A.S.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar a APSI S.A.S un registro de los proyectos que fueron sometidos a pruebas FAT.</li> <li>• Identificar los equipos que intervinieron y cuál fue el objeto de prueba en cada solución.</li> <li>• Realizar la relación</li> </ul>	<i>Listado de equipos utilizados para las pruebas FAT.</i>
<b>Análisis</b>	<i>Analizar los requisitos técnicos, eléctricos y tecnológicos necesarios para la implementación de pruebas FAT.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar los requisitos de las pruebas identificadas</li> <li>• consultar las especificaciones de cada equipo utilizado en las pruebas.</li> <li>• consultar y analizar las normas existentes aplicables al diseño de un banco de pruebas FAT.</li> <li>• Realizar una especificación de los requisitos.</li> </ul>	<i>Especificación de los requisitos que debe tener el banco para pruebas FAT a diseñar</i>
<b>Diseño</b>	<i>Diseñar un banco de pruebas FAT que integre las pruebas identificadas y los requisitos analizados, ajustado a las condiciones de operación de la prueba de la empresa APSI S.A.S.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar las especificaciones y requerimientos que debe tener un banco de pruebas propuesto.</li> <li>• Diseñar el banco de pruebas FAT propuesto.</li> </ul>	<i>Plano con el diseño del banco de pruebas FAT</i>
<b>Evaluación</b>	<i>Evaluar la aplicabilidad del diseño del banco de pruebas FAT para la empresa APSI S.A.S. en las condiciones de operación del</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar si es posible implementar el diseño del banco de pruebas FAT propuesto, en el laboratorio</li> </ul>	<i>Check list de evaluacion de aplicabilidad</i>

*laboratorio de Robótica y de automatización de la  
Automatización de la Universidad universidad de la Costa..  
de la Costa.*

---

*Fuente: propia.*

Como se observa en la tabla 1, la primera fase del estudio corresponde al análisis bibliográfico de la literatura y pretende establecer los antecedentes de la investigación. En otras palabras, conocer que dispositivos para el diagnóstico de la Enfermedad de Parkinson (EP) se han propuesto previamente y como han abordado el problema otros investigadores. Desarrollar las actividades de la fase trae como resultado: las cadenas de búsqueda y la documentación del estado del arte.

La segunda fase del estudio abarca dos objetivos y todo lo concerniente a la construcción del dispositivo electrónico. Desde la concepción de sus entradas y componentes, hasta la fabricación de hardware y software con la ayuda de algunas herramientas. Las actividades de esta fase conllevan a los siguientes resultados: la documentación de señales y síntomas seleccionados, las especificaciones técnicas de los sensores del dispositivo electrónico, la selección de herramientas, el diseño arquitectura, el hardware y el software del dispositivo.

La tercera y última fase del estudio es la puesta a punto del dispositivo electrónico. Su finalidad es corroborar que el dispositivo está dispuesto para uso, cumpliendo con la función planteada. Para ello se prueba y evalúa en un grupo específico de personas. De esta fase resulta: la selección de la muestra, la información adquirida con el dispositivo y la presente monografía.



## 6. Resultados de la investigación

### 6.1. Identificación de las soluciones de ingeniería que contienen automatización y control sometidos a pruebas

El anexo 1 muestra una tabla que relaciona las soluciones de ingenierías, que contienen automatización y control realizadas por APSI. Que fueron sometidas a pruebas FAT.

Las soluciones se encuentran separadas por proyectos, en la tabla se realiza una breve descripción de cada proyecto e identifican los objetivos y requisitos de la prueba, equipos en prueba, equipos que intervinieron y demás herramientas y elementos utilizados para cada prueba.

Esta relación permitió conocer cuáles son los equipos en prueba, herramientas y otros elementos que intervienen en la elaboración de las pruebas FAT. Y determinar que cuales son los más utilizados.

La Tabla Tabla 2 relaciona cuáles son las herramientas y otros elementos necesarios para la realización de pruebas FAT por APSI y determinar su índice de uso:

Tabla 2

*Índice de uso de Herramientas y otros elementos*

Herramientas y otros elementos	Cantidad de pruebas en las que se utilizó
Fuente con salida a 24V y 12V	6
Pelacables	6
Cortafríos	6
Cables (vehicular y coaxial)	6
destornilladores	6
Ponchadora	4

Cable UTP categoría 6	4
Conectores RJ45	4
Cautín	4
Estaño	4
Extractor de estaño	4
Breakers con led indicador	4
Borneras	4
Riel din	4
Multímetro	4
conectores DB9 hembra y macho	4
Bornas dobles portafusibles	4
Generador de 4-20mA	4
Conector de módem AirLink LS-300	2
Cables de conexión a la red que cumpla el con estándar Ethernet	1
Extensión eléctrica	1
Adaptador con salida de 12V, entrada a 110V y conector compatible con el módem	1

---

*Fuente: Propia*

La Tabla 3 permite conocer cuáles son los equipos en prueba, de acuerdo con los proyectos realizados por APSI y determinar su índice de uso.



Tabla 3

*Índice de uso de los equipos en prueba.*

<b>Equipos en prueba</b>	<b>Cantidad de pruebas en las que se utilizó</b>
RTU Control Wave Bristol	6
Regulador solar TAROM 440	2
Módems AirLink LS-300	3
Convertidor de corriente	2
Antena Yagui	3
Módems Airlink Raven	2
Línea de Fibra Óptica disponible	1

*Fuente: propia*

La Tabla 4 permite conocer cuáles son los equipos que intervinieron en la elaboración de las pruebas realizadas por APSI y determinar su índice de uso

Tabla 4

*Índice de uso de equipos que intervinieron.*

<b>Equipos que intervinieron</b>	<b>Cantidad de pruebas en las que se utilizó</b>
Computadores	5
Antena Omni	2
Lámpara LED	1
Antena Yagui	1

*Fuente: propia*

Lo anterior permite determinar los requisitos funcionales que debe tener el diseño del banco de pruebas FAT propuesto en este proyecto. Para ello se tendrá en cuenta las especificaciones de los equipos en prueba más relevantes por su uso.

La correlación anterior permite conocer cuáles son los equipos y herramientas más utilizados por APSI S.A.S. para con ello tener en cuenta sus requisitos de funcionamiento de acuerdo a sus hojas de datos para el diseño del banco de pruebas.

## **6.2. Requisitos**

De acuerdo a la anterior correlación y las solicitudes realizadas por los ingenieros y encargados de la seguridad del trabajador de APSI S.A.S fue posible determinar los requisitos funcionales y no funcionales para el banco de pruebas FAT:

### **6.2.1. Requisitos funcionales**

Entiéndase por requisitos funcionales, aquellos que se necesitan para operar en el banco de pruebas. Los identificados fueron los siguientes:

- Acceso a puntos de conexión que proporcionen 24V, 110V y 12V para la alimentación de equipos (tomacorrientes).
- Acceso a puntos de conexión a la red corporativa; en el caso de la UNICOSTA, a la red institucional (conexión Ethernet).

### **6.2.2. Requisitos no funcionales**

Entiéndase como requisito no funcional, aquellos que no intervienen en la operación del Banco de pruebas pero proporcionan seguridad, comodidad, orden y facilitan el trabajo. Los identificados fueron los siguientes:

- Espacio disponible para su ubicación, de aproximadamente un metro de largo y no más de 2 metros de alto.
- Cumplir con la normativa eléctrica.

Además de la identificación de los anteriores requisitos, APSI S.A.S solicitó que el banco de pruebas FAT cumpla los siguientes:

- No tener ningún cable expuesto.
- Brindar un ambiente de trabajo seguro.
- Que se pueda mover fácilmente de un lugar a otro
- Posibilidad de tener al alcance las herramientas necesarias para la realización del trabajo.
- Facilitar la creación de un entorno de pruebas.
- Mantener el ambiente de trabajo en orden.
- Que sea posible llevarlo a sitio, para la realización de pruebas en sitio SAT siendo estas las pruebas que se realizan antes de plantear la solución, para determinar los recursos disponibles, como por ejemplo medir la intensidad de la señal.

### **6.3. Diseño**

Durante el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta los requerimientos, fueron realizados varios esquemas de diseños, los cuales pasaron por una serie de modificaciones, consideradas por los ingenieros de proyecto de APSI S.A.S., estas modificaciones llevaron al diseño final. En el diseño final se omiten algunos de los requerimientos descritos en el anterior capítulo, esto debido a que APSI S.A.S. amplió su

sede e incluyó un laboratorio que en conjunto con el diseño final del banco de pruebas, cumple en su totalidad con los requisitos.

A continuación, se presentan los diseños preliminares del banco de pruebas FAT para APSI S.A.S

### 6.3.1. Diseño preliminar

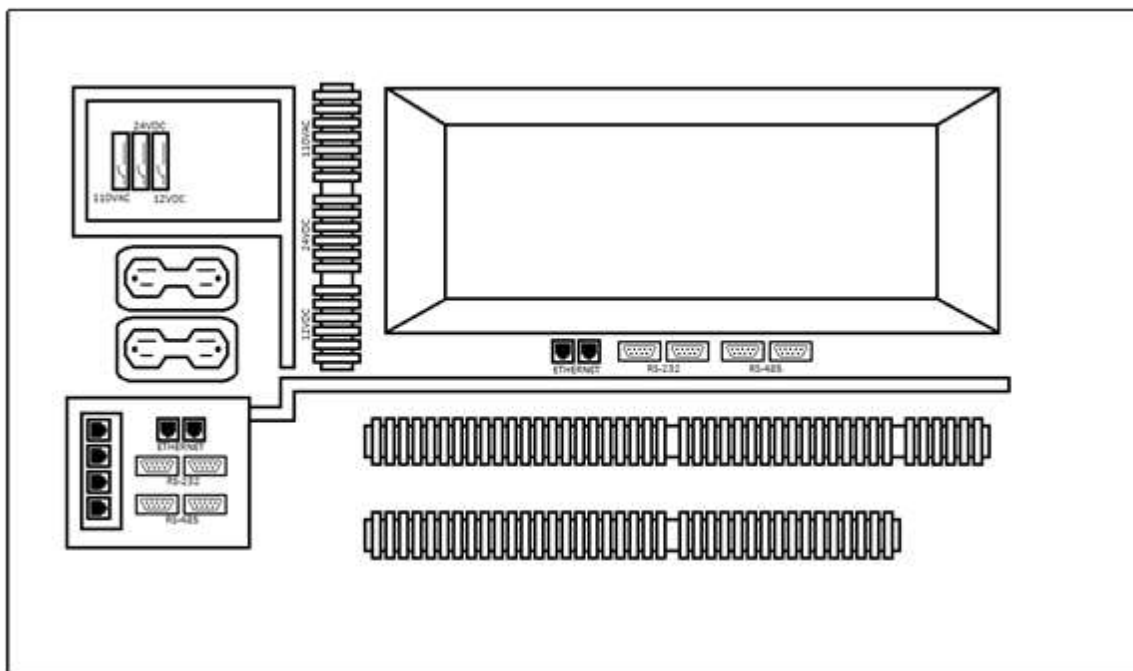


Figura 1 Diseño preliminar. Fuente propia

El diseño partiendo de la izquierda consta de un panel de alimentación conformado por tres breakers; de 110VAC, 24VDC y 12VDC, que son los voltajes más utilizados por los fabricantes de equipos. Estos a su vez se distribuyen a unas bornas ubicadas al lado del panel para repartir la alimentación requerida hasta los equipos. Debajo del panel de alimentación se encuentran dos tomacorrientes de 110 VAC con el fin de alimentar equipos que tengan adaptadores o ese tipo de conector de una forma rápida. Al lado derecho se

encuentra un espacio pensado para la ubicación de los equipos en prueba. Inferior a ello, se encuentra el módulo de comunicaciones, esto con el fin de hacer una extensión de las comunicaciones del equipo, conectando el equipo a los conectores RJ45, RS232 o RS485, según se requiriera; esta extensión llegaría hasta el panel de comunicaciones ubicado en la parte inferior izquierda, el fin de ello es mantener el orden en el banco de pruebas, evitando la manipulación excesiva de los conectores del equipo y la mezcla de cables de comunicación con los de entradas y salidas para la simulación.

En la parte inferior se encuentran dos bloques de bornas y breakers para la simulación de entradas y salidas digitales.

Esta propuesta de diseño fue modificada debido a que los ingenieros de proyectos de APSI S.A.S. empezaron a plantear la construcción de un laboratorio para su nueva sede, en el cual contarían con Fuentes BK, por lo que se consideró innecesario el bloque de alimentación.

### **6.3.2. Diseño final**

A continuación, en la Figura 2 se presenta el diseño final, el plano del mismo se encuentra en el anexo 3, donde se detallan los elementos utilizados para su elaboración.

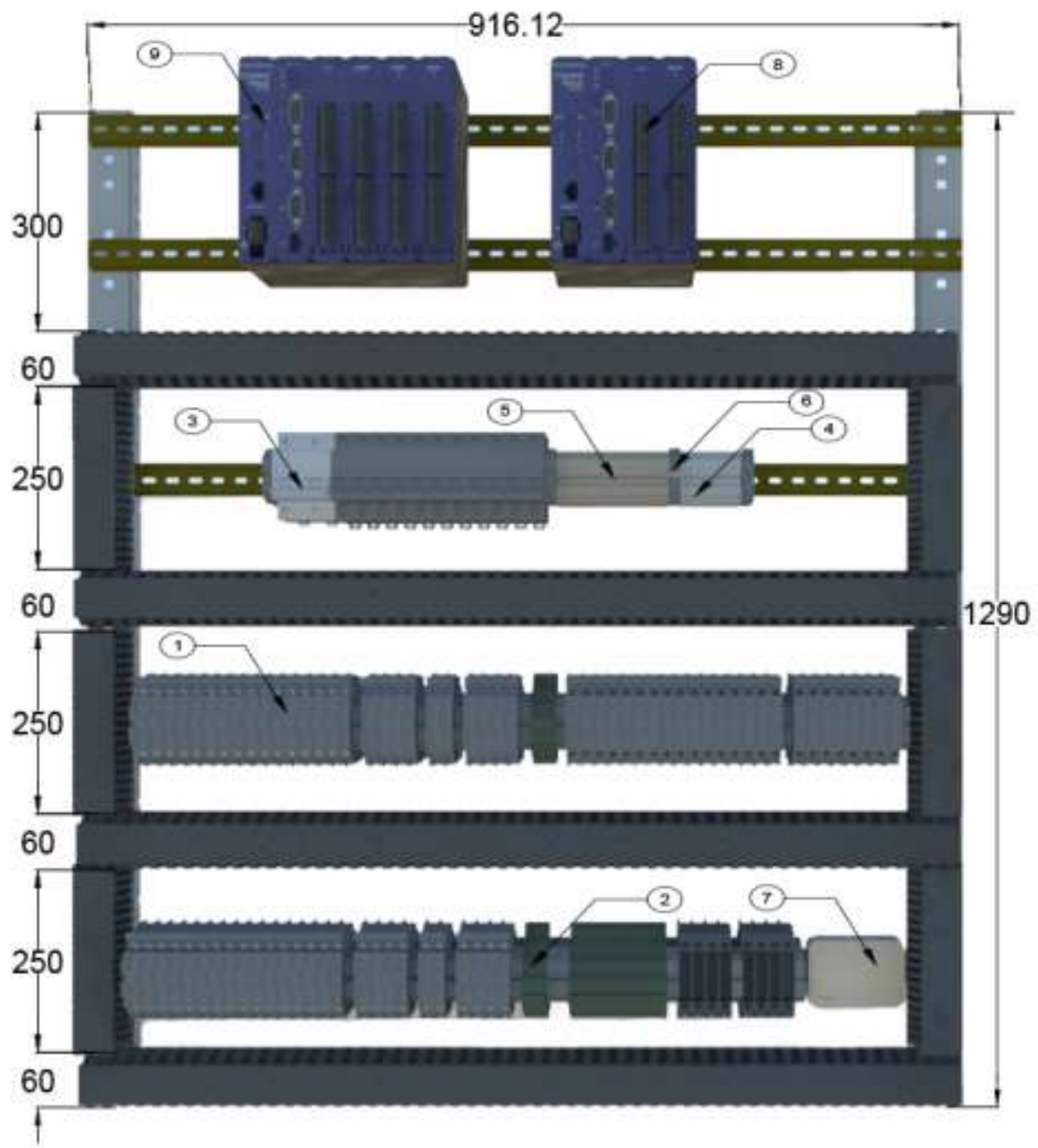


Figura 2 Diseño final. Fuente propia

Para satisfacer las necesidades y los requerimientos de la empresa APSI S.A.S, el banco de pruebas FAT propuesto, consta de un tablero de control conformado por 4

módulos , en el módulo 1 se dispone de dos RTU (unidades terminal remotas), para el control de las operaciones, por lo que una unidad de control que tiene un rol de maestro como señala el numeral (9) del plano, y una unidad de terminal remota que cumple con el rol de esclavo como señala el numeral (8), la RTU maestro del numeral (9) se compone de una serie de tarjetas, una para el control de las señales de entradas digitales, una tarjeta para el control de salidas digitales, y dos tarjetas mit DI y DO tal como se amplifica en la Figura 3 .

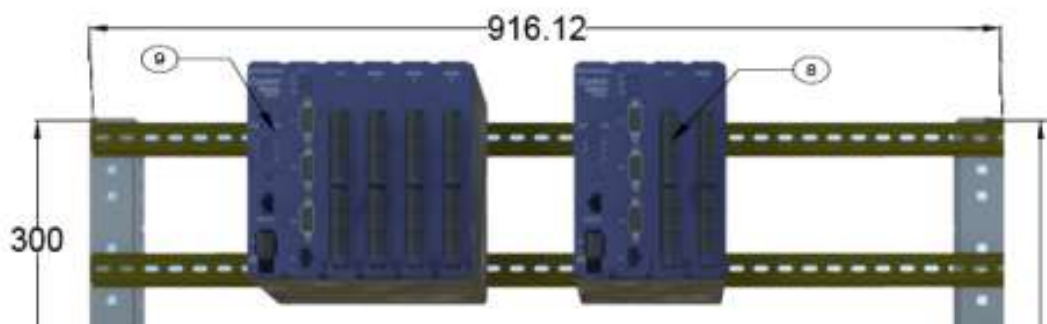


Figura 3 Módulo 1. Fuente propia

El módulo 2 está comprendido por la etapa de potencia, en esta se realiza la distribución del voltaje requerido para la alimentación de los equipos. Está conformada por fuentes de voltaje de 20V, un breaker disyuntor para la alimentación general y protección del tablero y 12 breakers más para la distribución del voltaje, tal como se señala en el numeral (3) del plano. Estos breakers se encuentran conectados a unos bornes para la conexión de alimentación de los equipos, como se observa en el numeral (5), esto permite mantener todos los equipos de la prueba conectados desde el comienzo de la prueba y energizar únicamente los que utilizaré. El numeral (4) señala bornes simples de tierra para aterrizar los equipos que lo requieran .

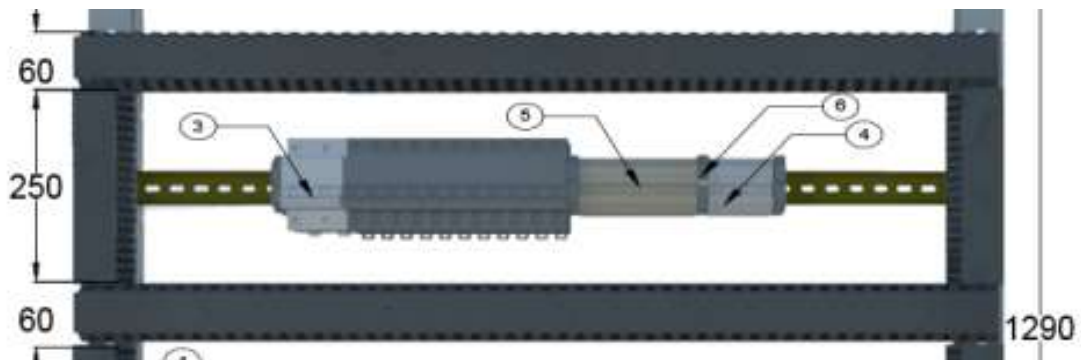


Figura 4 Módulo 2. Fuente propia

En la se muestra el módulo 3 que es el de distribución de entradas, el numeral (1) señala los bornes de carril para fusibles que simularán las entradas.

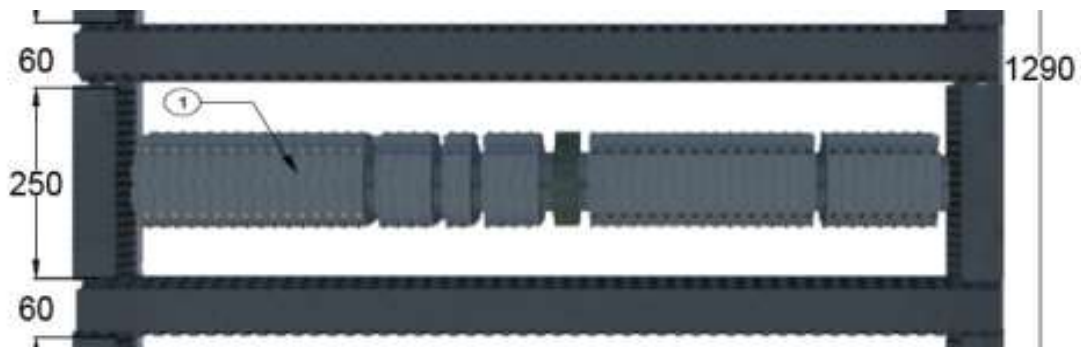


Figura 5 Módulo 3. Fuente propia

Finalmente el módulo 5 está dispuesto para las salidas además de disponer de un Switch, señalado en el numeral (7), para la conexión a la red de los equipos que lo requieran ya sean para su control y configuración, la transferencia de datos o la misma simulación de las pruebas.



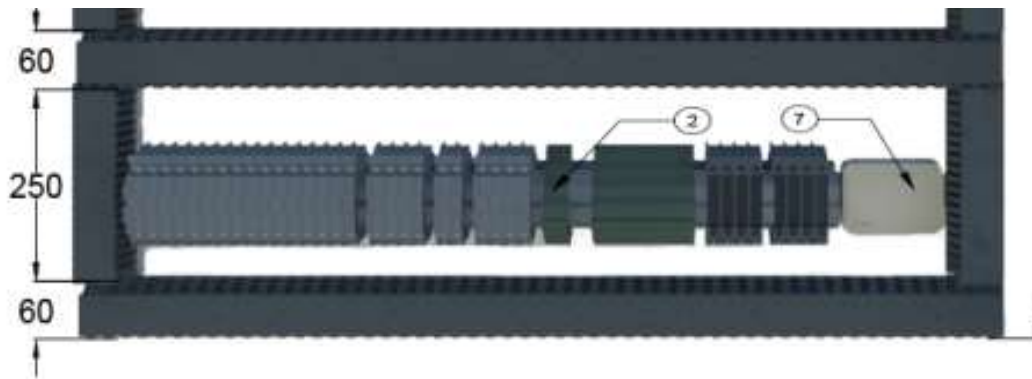


Figura 6 Módulo 4. Fuente propia

## 6.4. Manual

### 6.4.1. Ejemplo de uso

Una empresa “X” requiere un sistema de control y monitoreo donde pueda visualizar la operación desde la adquisición de datos y la operación de la misma, controlando todo el sistema, tanto lo que involucre señales analógicas tales como presión y temperatura como señales digitales tales como apertura y cierre de válvulas, para la ejecución de la prueba, las señales serán simuladas.

Se probará la lógica de la programación planteada y la respuesta del autómata a la misma

#### 6.4.1.1. Requerimientos.

Para la realización de las pruebas se requiere el siguiente equipamiento:

- Dos (2) Fuentes de alimentación de 24 Voltios D.C.
- Un (1) RTU Bristol Babcock (ControlWave - Concentrador).
- Un (1) RTU Bristol Babcock (ControlWave Micro - Remoto).
- Un (1) Módulo de entradas digitales para Controlwave Micro.
- Dos (2) Módulos mixtos de entrada y salida para Controlwave Micro.

- Un (1) Estación de operación con Software Control Open BSI ver 5.8.
- Un (1) Estación de operación con Software Intouch de Wonderware TOP-SERVER de Wonderware.
- Un (1) Cable de comunicaciones RS-232 a XXX
- Un (1) Multímetro.
- Un (1) Generador de señal de 4 – 20 mA.
- Dos (2) Modem celular.
- Dos (2) antenas omni.
- Rack de prueba.

#### **6.4.1.2. Procedimiento general para las pruebas**

Para llevar a cabo la ejecución de las pruebas FAT es necesario seguir los pasos descritos a continuación.

- Revisión de la documentación existente: es necesario conocer completamente el objeto de prueba, por ello se debe recopilar información pertinente que incluya la filosofía de la prueba, componentes, diagrama de conexiones, certificados, fichas técnicas, manuales de usuario, manuales de servicio, protocolos de pruebas de aceptación final de fábrica, procedimiento operativo estándar (SOP), formatos para registros de FATs, y demás documentación de la que se disponga
- Identificación de la prueba: el diseño de banco de pruebas propuesto permite la realización de pruebas de señales digitales, pruebas de señales análogas, pruebas de comunicación y validaciones, verificaciones y calificaciones de equipos e instrumentos. Para determinar los materiales requeridos y Slots que se utilizarán

para la prueba en caso se necesiten, se requiere tener claridad del tipo de señales que se verificarán y las características de los equipos como la alimentación, conexiones, entre otras.

- Energización del banco de pruebas: Verificación de voltajes en el banco de prueba: con un voltímetro, se realiza la medición de las salidas de los puntos de alimentación para garantizar que no se han obstruido estas conexiones y que el voltaje suministrado es el requerido para evitar daños en los equipos.
- Verificación elemento por elemento: antes de iniciar la prueba, se debe realizar una verificación del estado físico y funcional de cada instrumento, herramienta y equipo que intervenga en la prueba.
- Adecuación del banco para la prueba: teniendo en cuenta la revisión realizada en el numeral previo, y de acuerdo a la filosofía de la prueba, protocolos de las pruebas, SOP, y formatos disponibles para la documentación de pruebas y con la identificación de la prueba realizada anteriormente, se realizan las conexiones pertinentes.
- Adaptación de equipos autómatas al banco de pruebas: Ubicar los autómatas en el módulo 1.
- Energizar el módulo de alimentación con las tensiones y corrientes requeridas para el uso del equipo. Para ello el módulo Cuenta con dos interruptores automáticos especiales, que funcionan como interruptores generales y once para distribución de la alimentación. Además de 20 bornes de paso para distribuir la alimentación de los interruptores y 10 bornes simples de tierra de tierra para su distribución en el banco.

Para separar los interruptores y bornas se utilizaron frenos separadores de bornas, a fin de juntar cada conjunto de elementos de forma ordenada.

- Se procederá a encender las fuentes de alimentación y con el multímetro se verificará la Polaridad y el voltaje que están entregando las fuentes; Seguido se verifica el voltaje en los interruptores generales y posterior a ello en los interruptores de distribución que se emplearán en la prueba y finalmente se alimenta el autómatas y verifica su funcionamiento
- Adecuación de entradas y salidas de acuerdo a la lógica del programa: en este punto se identifican los slots del autómatas con señales análogas y se ubican en el módulo de entradas análogas, para ello se cablea desde el pin en el slot del autómatas hasta el elemento disponible para ello en el módulo
- Lo mismo se hace para las entradas digitales y posteriormente para las salidas tanto análogas como digitales.
- Pruebas de señales de entrada de tipo analógico: Con el generador de 4 a 20 mA se probará toda señal de entrada de tipo analógico que esté en uso, alguna de estas señales puede ser presiones o temperaturas o señales de cualquier instrumento de medición. El generador de corriente de 4 a 20 mA, será el encargado generar la variación de la señal del instrumento simulado.
  - Conecte el terminal rojo del generador al elemento que contiene la señal a probar.
  - Conectar el terminal negro del generador al elemento que contiene la señal a probar.
  - Encender el generador.

- Cambiar el valor de la corriente del generador.
- Revisar y documentar el cambio de la variable en la lógica del
- Apagar el generador y se desconectar los cables para continuar con las pruebas de la siguiente señal.
- Para probar señales digitales: En el módulo 3 , Con un cable, que permitirá cortocircuitar las entradas y el común, se probarán las señales de tipo digital; algunas de estas señales son dadas por medio de indicadores magnéticos, botones, etc, y permiten simular estados como apertura y cierre, encendido y apagado, el módulo 3 cuenta con bornes portafusibles que permiten simular los estados descritos anteriormente. Para ello se deben seguir lo siguiente:
  - Conectar un extremo del cable, al pin X del slot X de la RTU.
  - Conectar el otro extremo del cable al pin X del slot X.
  - Cerrar el portafusible de la borna que simula el cierre de la válvula que se va a probar. En este punto se revisa el cambio que debe darse en la variable dentro de la lógica del programa.
  - Simulando las señales de entrada necesarias se revisará la lógica de control evaluando cada uno de los modos de operación del sistema.

## 6.5. Aplicabilidad del diseño del banco de pruebas en la

### Universidad de la Costa

Tabla 5

*Aplicabilidad del diseño en la Universidad de la Costa*

REQUISITO	APLICA	NO APLICA

---

Acceso a puntos de conexión a la red (conexión Ethernet)	X
Acceso a puntos de conexión a la red eléctrica (Tomacorrientes)	X
Espacio para su ubicación	X
Cumplir con la normativa eléctrica	X

---

*Fuente: propia*

Teniendo en cuenta la anterior tabla, es posible aplicar el banco de pruebas en la Universidad de la Costa UNICOSTA, puesto que cumple con todos los requisitos tanto funcionales como no funcionales.

## 7. Conclusiones

Se realizó el diseño de un banco para pruebas FAT de acuerdo con las necesidades de APSI S.A.S. identificándose su arquitectura ideal por medio del análisis de las pruebas FAT realizadas por la empresa, en las que se requirió la adecuación de un espacio en sus instalaciones, con ello también se establecieron los requisitos técnicos, eléctricos y tecnológicos para la realización de las pruebas clasificándose en requisitos funcionales y requisitos no funcionales. Para efectos de lo anterior, se identificaron los procesos de pruebas realizados en el desarrollo de soluciones de automatización y control en la empresa APSI S.A.S.

La realización de las pruebas FAT es de gran importancia puesto que garantizan el correcto funcionamiento de la solución, posibilitando la oportuna detección de errores para su solución, dado a que las condiciones de operación en fábrica pueden ser diferentes a las condiciones de operación en sitio por lo que los equipos podrían tener un funcionamiento diferente, se requiere de la realización de unas pruebas SAT antes de implementar la solución.

El banco de pruebas FAT diseñado permite la optimización de recursos como el espacio, cableado, tiempo de adecuación del espacio en el que se realizarán las pruebas, personal requerido para ello y se minimizan las condiciones inseguras de quienes las realizan y quienes se encuentran cerca del lugar de la prueba.

Para evaluar la aplicabilidad en el laboratorio de robótica y automatización de la Universidad de la Costa UNICOSTA del diseño obtenido como producto de este proyecto, se revisó si ésta cumple con los requerimientos funcionales y no funcionales, y se obtuvo que el laboratorio cumple con todos los requisitos, por lo que es posible aplicar el diseño.

La aplicación del banco de pruebas en el laboratorio de robótica y automatización de la UNICOSTA le permitiría al estudiante de ingeniería electrónica el desarrollo de competencias citadas por la ABET tales como la capacidad de aplicar conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería, La capacidad para diseñar y realizar experimentos, así como analizar un conjunto de interpretar datos; La capacidad de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas; La capacidad para laborar dentro de un equipo multidisciplinario, La habilidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería y La capacidad para utilizar las técnicas, habilidades y herramientas modernas de ingeniería necesarias para la práctica de la ingeniería.

A su vez también facilita el desarrollo de otras competencias con las que egresa el estudiante de la Universidad de la Costa, tales como plantear la resolución de problemas de ingeniería mediante el uso de las matemáticas en las áreas de automatización, bioingeniería y telecomunicaciones, Aplicar habilidades en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, Desarrollar trabajo en equipo aplicando los conocimientos de manera práctica y con alta calidad en las áreas de automatización, bioingeniería y telecomunicaciones y Proponer soluciones que contribuyan al desarrollo sostenible a través del ejercicio de su profesión.



### Referencias

- Acofi. (2019). Modelo de Acreditación ABET | ACOFI – Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería. Recuperado 24 de noviembre de 2019, de <http://www.acofi.edu.co/modelo-de-acreditacion-abet/>
- Agudelo, N. M. M. (2016). *Diseño de un banco de pruebas didactico para la operación de un sistema de control de movimiento con un servomotor Yaskawa*. Universidad tecnológica de pereira, Pereira, Colombia.
- AMATROL Inc. (2019). Historia de Armatrol. Recuperado de <https://amatrol.com/about-us/history/>
- Balcells, J., & Romeral, J. L. (1997). *Autómatas programables*. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=xfSjADge70C&oi=fnd&pg=PA11&dq=Aut%C3%B3matas+Programable,+Josep+Balcells,+Jose+Luis+Romeral&ots=2AfZCJr7hp&sig=pnUcUGXS67Nc0Sy\\_Kc0mGltFvGY&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Aut%C3%B3matas%20Programable%2C%20Josep%20Balcells%2C%20Jose%20Luis%20Romeral&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=xfSjADge70C&oi=fnd&pg=PA11&dq=Aut%C3%B3matas+Programable,+Josep+Balcells,+Jose+Luis+Romeral&ots=2AfZCJr7hp&sig=pnUcUGXS67Nc0Sy_Kc0mGltFvGY&redir_esc=y#v=onepage&q=Aut%C3%B3matas%20Programable%2C%20Josep%20Balcells%2C%20Jose%20Luis%20Romeral&f=false)
- Choudhary, A. (2018). Pruebas de aceptación de fábrica FAT. Recuperado de Pharmaceutical guidelines website: <https://www.pharmaguideline.com/2018/02/factory-acceptance-test-fat.html>
- Cifuentes Herrera, R. A. (2015). *Modelamiento y Ejecución de pruebas FAT de SIPS para maximizar inyección de ERNC en líneas de transmisión utilizando plataformas de simulación en tiempo real*. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136478>

- Comas González, Z. V., Silva Ortega, J. I., & De la hoz Valdriris, E. (2014). IMPLEMENTACIÓN DE NUEVA HERRAMIENTA DE SEGUIMIENTO ACADEMICO QUE VALIDA LA EVALUACIÓN POR COMPETENCIAS GENERICAS DENTRO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA (CUC). *Revista Educación en Ingeniería*, 9(18), 1-11. <https://doi.org/10.26507/rei.v9n18.427>
- Dago Bedoria, F. A. (2015). *Desarrollo de platamorma de simulación de procesos para la realización de pruebas de aceptaci{on en fábrica (FAT) de sistemas automatizados. Apliación a un caso práctico*. Universidad de Oviedo, España.
- Delava, E., & Van Tiggelen, p. (1992). *Pruebas de integración y aceptación de fábrica del sistema de protección primario (en Sizewell B)*. 245-251.
- ETAS Driving Embedded Excellence. (2019). Aplicaciones de Bancos de Pruebas. Recuperado de [https://www.etas.com/en/applications/applications\\_test\\_bench\\_applications.php](https://www.etas.com/en/applications/applications_test_bench_applications.php)
- Hampton, I., & Quinn, B. (2000). *Software project measurement criteria*. 258-264.
- Ingeniería Electrónica. (2019). Recuperado 24 de noviembre de 2019, de <http://ingenieria.cuc.edu.co/ingenieria-electronica/informacion-general>
- Ioannides, C., & Eder, K. I. (2012). Coverage-Directed Test Generation Automated by Machine Learning – A Review. *ACM Trans. Des. Autom. Electron. Syst.*, 17(1), 7:1–7:21. <https://doi.org/10.1145/2071356.2071363>
- Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., & Armesto, J. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización* (Segunda). Marcombo.

- Moya Cabezas, C. A., & Pinto Jaguaco, A. J. (2015). *Automatización del banco de pruebas Plint TE 15 y balance Termodinámico del motor del Banco perteneciente al laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/11374>
- Obando, R., & Felipe, A. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de control distribuido en el banco de pruebas neumático de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle con base en la norma IEC 61499 [recurso electrónico]* (Thesis). Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/9940>
- Páez Logreira, H. D., Zabala Campo, V. D., & Zamora Musa, R. (2016). *Análisis y actualización del programa de la asignatura Automatización Industrial en la formación profesional de ingenieros electrónicos*. 11(21), 39-44. <https://doi.org/10.26507/rei.v11n21.609>
- Pillapa Tibanquiza, Ó. W., & Hurtado Guambingo, E. G. (2010). *Diseño, construcción e implementación de tableros didácticos para el laboratorio de control eléctrico y PLC de la ESPE Extensión Latacunga*. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4422>
- Ponsa, P., & Granollers, A. (2004). *DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL*. 30.
- Pulido, M. Á. (2004). *Controladores Lógicos*. Marcombo.
- Quanser. (2019). Misión de Quanser. Recuperado 21 de noviembre de 2019, de Quanser website: <https://www.quanser.com/about/>
- Test Benches. (2019). Recuperado 21 de noviembre de 2019, de Haven Automation Ltd website: <https://www.haven.co.uk/test-benches>

The Decline of Acceptance Testing. (2002, enero 1). *Electrical Construction & Maintenance (EC&M) Magazine*. Recuperado de <https://www.ecmweb.com/content/decline-acceptance-testing>

Tulchan, V., & Alejandro, D. (2016). *Diseño e implementación de un módulo prototipo de pruebas con diagnóstico de problemas, para motores trifásicos de inducción, en la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros*. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13095>

Viñuela, P. I. (1997). *Lenguajes, gramáticas y autómatas*. Pearson Educación.

Your Guide to Factory Acceptance Testing. (2016, agosto 8). Recuperado 21 de noviembre de 2019, de Consolidated Sterilizer Systems website: <https://consteril.com/factory-acceptance-testing/>

## **Anexos**

### **Anexo 1.**

**Soluciones de ingenierías, que contienen automatización y control realizadas por APSI. Que fueron sometidas a pruebas FAT.**

Proyecto/Servicio	Breve descripción del proyecto	Objeto de la Prueba	Requisitos de la prueba	Equipos en prueba	Equipos que intervinieron	Herramientas y otros elementos utilizados
Automatización Gasoducto del sur	Este ptoyecto tiene como objetivo el control y monitoreo desde el centro principal de control (CPC) de Promigas, por medio de un sistema SCADA, de las válvulas Dique Norte, Dique sur, Filadelfia, Tolú Viejo, Hocol y Sincé, y las estaciones Bremen, Majagua y San Mateo, siendo estos los sitios que conforman el Gasoducto del sur. Los ingenieros del CPC de Promigas visualizarán desde el HMI la medición de flujo,presión, temperatura, densidad y las mediciones obtenidas por los analizadores de humedad, punto de rocío de hidrocarburo, H2S, O2, azufre, cromatógrafo de gas, entre otros; para los sitios que tienen medición. Además conocerán el estado de las válvulas y alarmas generadas sin necesidad de estar presencialmente en el sitio. La lógica realizada para el proceso permite que se ejecuten acciones automáticamente, dependiendo de la alarma generada. Las comunicaciones entre los sitios y el CPC son inicialmente vía celular.	Verificación del estado de los equipos	Acceso a puntos de conexión para alimentación de equipos, con salida de 24V y/o 12V (según sea lo requerido por el equipo).	RTU Control Wave Bristol		Fuente con salida a 24V y 12V
				Regulador solar TAROM 440		Pelacables
				Módems AirLink LS-300		Cortafrios
				convertidor de corriente		Cables (vehicular y coaxial)
				Antena Yagui		destornilladores
		verificación de la lógica de control	Acceso a puntos de conexión para alimentación de equipos, con salida de 24V y/o 12V (según sea lo requerido por el equipo).	RTU Control Wave Bristol	Computadores	Fuente con salida a 24V y 12V
						Pelacables
			Cables vehicular			
			Destornilladores			
			Cortafrios			
			Ponchadora			
			Cable UTP categoría 6			
			Conectores RJ45			
			cautín			
			estaño			
			Extractor de estaño			
			Breakers con led indicador			
			Borneras			
		Riel din				
		Mulímetro				
		conectores DB9 hembra y macho				
		Bornas portafusibles				
		Generdador de 4-20mA				
		Verificación de las comunicaciones	Acceso a puntos de conexión para alimentación de equipos, con salida de 24V y/o 12V (según sea lo requerido por el equipo).	RTU Control Wave Bristol	Computadores	Fuente con salida a 24V y 12V
Pelacables						
Cables (vehicular y coaxial)						
Destornilladores						
Cortafrios						
Ponchadora						
Cable UTP categoría 6						
Conectores RJ45						
cautín						
estaño						
Extractor de estaño						
Breakers con led indicador						
Borneras						
conector de módem AirLink LS-300						
Equipos de computo con acceso a internet, disponibilidad de puertos USB, Ethernet, driver de conversor USB - serial y el paquete de Open BSI previamente instalado	Acceso a dos puntos de conexión a la red Ethernet corporativa.	módem Airlink LS-300	Antena Omni	Riel din		
				Mulímetro		
				conectores DB9 hembra y macho		
				Bornas portafusibles		
				Generador de 4-20mA		

Automatización Gasoducto Troncal	Este ptoyecto tiene como objetivo el control y monitoreo desde el centro principal de control (CPC) de Promigas, por medio de un sistema SCADA, de las válvulas que conforman el Gasoducto Troncal. Los ingenieros del CPC de Promigas visualizarán desde el HMI la medición de flujo, presión, temperatura, densidad, entre otras mediciones. Además conocerán el estado de las válvulas y alarmas generadas sin necesidad de estar presencialmente en el sitio. La lógica realizada para el proceso permite que se ejecuten acciones automáticamente, dependiendo de la alarma generada. Las comunicaciones entre los sitios y el CPC son inicialmente vía celular.	Verificación del estado de los equipos	Acceso a puntos de conexión para alimentación de equipos, con salida de 24V y/o 12V (según sea lo requerido por el equipo).	RTU Control Wave Bristol		Fuente con salida a 24V y 12V
			Regulador solar TAROM 440	Pelacables		
			Módems Raven	Cortafíos		
			convertidor de corriente	Cables (vehicular y coaxial)		
			Antena Yagui	destornilladores		
		verificación de la lógica de control	Acceso a puntos de conexión para alimentación de equipos, con salida de 24V y/o 12V (según sea lo requerido por el equipo).	RTU Control Wave Bristol	Computadores	Fuente con salida a 24V y 12V
						Pelacables
			Cables vehicular			
			Destornilladores			
			Cortafíos			
			Ponchadora			
			Cable UTP categoría 6			
			Conectores RJ45			
			cautín			
		Acceso a dos puntos de conexión a la red Ethernet corporativa.	RTU Control Wave Bristol	Computadores	estaño	
					Extractor de estaño	
					Breakers con led indicador	
		Equipos de computo con acceso a internet, disponibilidad de puertos USB, Ethernet, driver de conversor USB - serial y el paquete de Open BSI previamente instalado	RTU Control Wave Bristol	Computadores	Borneras	
					Riel din	
					Mulímetro	
		Verificación de las Comunicaciones	Acceso a puntos de conexión para alimentación de equipos, con salida de 24V y/o 12V (según sea lo requerido por el equipo).	RTU Control Wave Bristol	Computadores	conectores DB9 hembra y macho
						Bornas portafusibles
			Generador de 4-20mA			
			Fuente con salida a 24V y 12V			
Pelacables						
Cables (vehicular y coaxial)						
Destornilladores						
Cortafíos						
Ponchadora						
Cable UTP categoría 6						
Conectores RJ45						
cautín						
Acceso a dos puntos de conexión a la red Ethernet corporativa.	módem Airlink Raven	Antena Omni	estaño			
			Extractor de estaño			
			Breakers con led indicador			
Equipos de computo con acceso a internet, disponibilidad de puertos USB, Ethernet, driver de conversor USB - serial y el paquete de Open BSI previamente instalado	módem Airlink Raven	Antena Omni	Borneras			
			conector de módem AirLink LS-300			
			Riel din			
			Antena Omni	Mulímetro		
				conectores DB9 hembra y macho		
				Bornas portafusibles		
				Generador de 4-20mA		

Ingeniería detallada para el Traslado del cromatógrafo de Jobo en la estación La Arenosa	Este proyecto tiene como objetivo adecuar la estación La Arenosa para la instalación de un cromatógrafo que se encuentra en la estación Jobo, la instalación del mismo y su integración al SCADA de Promigas.	Prueba de la fibra óptica disponible en la bandeja contenedora, para la definir el medio de comunicación con el Centro Principal de Control (CPC) de Promigas	Visita en campo para ubicar la bandeja de fibra óptica y verificar la disponibilidad de hilos y su estado	Línea de Fibra Óptica disponible	Lámpara Led	
Ingeniería detallada: Integración de la estación de medición Hocol al SCADA de Promigas	Este proyecto tiene como objetivo el monitoreo desde el Centro Principal De Control en Promigas, de la medición de la calidad y cantidad de gas producido desde la Estación HOCOL y recibido por Promigas S.A. E.S.P para ser transportado a través del Gasoducto San Mateo-Mamonal. Los ingenieros del CPC de Promigas visualizarán desde el HMI la medición de flujo y las mediciones obtenidas por los analizadores de humedad, punto de rocío de hidrocarburo, H2S, O2, azufre y cromatógrafo de gas. El sistema de medición diseñado para esta Estación, refiere una unidad de medición compuesta por tres brazos en arreglo "Z"; en la Fase 1, se contará con un brazo de medición y un brazo para calibración en "Z", este último sólo operará temporalmente en caso de que se saque a mantenimiento el brazo operativo; para efectos de monitoreo desde Promigas, el equipo instalado en campo, transmitirá las señales de un sólo brazo de medición.	conocer la intensidad de la señal en sitio y determinar el lugar donde es mas eficiente instalar la antena para el enlace de comunicación con el CPC de Promigas	Visita en campo con equipos de comunicación similares a los que se utilizarán en el proyecto	Modem AirLink LS-300	Antena yagui	cables de conexión a la red que cumpla el con estándar Ethernet
						Extensión eléctrica
				Antena Yagui	computador con puerto ethernet	adaptador con salida de 12V, entrada a 110V y conector compatible con el módem